

Преимущества применения низкопоточной вентиляции в анестезиологической практике

Витебская областная клиническая больница
(гл. врач П.В. Ляровский)

Применение низкопоточной вентиляции (НПВ) в клинической практике позволяет значительно снижать стоимость наркоза и эффективно использовать современные дорогостоящие летучие анестетики. Газовая смесь приобретает более физиологические характеристики (согревание и оптимальное увлажнение) и обеспечивается плавное изменение ее состава. НПВ снижает влияние летучих анестетиков и анестезиологических газов на персонал операционной и окружающую среду. Проведение НПВ требует газового мониторинга (летучие анестетики, CO_2 , O_2 , N_2O) и опыта работы анестезиолога в этом режиме. Тщательное соблюдение методики НПВ и индивидуальный подход позволяют избежать побочных эффектов.

Высокий расход анестетиков, значительные потери воды и тепла во время проведения искусственной вентиляции легких, а в последние годы и понимание вреда, наносимого окружающей среде летучими анестетиками, послужили стимулом для снижения потока свежего газа, подаваемого в дыхательный контур. Джон Сноу в 1850 году впервые предложил повторно использовать неизмененный выдыхаемый анестетик [1]. Такие анестезиологические дыхательные системы были разработаны для циклопропана в надежде предотвратить утечку этого чрезвычайно взрывоопасного газа в атмосферу и снизить затраты. Закрытая однофазная система с натронной известью для поглощения углекислого газа впервые была использована в анестезиологической практике в

1920 году, а в 1924 году описана и внедре-

на в практику применения. Развитие системы [2].

Интерес к этой методике постепенно угас после внедрения в 1954 году галотана, летучего анестетика с высокой силой и узкой терапевтической шириной, поскольку не существовало возможности мониторировать концентрацию летучего анестетика и его токсическое действие при передозировке. Применение низкопоточной вентиляции прекратилось на несколько десятилетий [3].

После внедрения в практику систем мониторинга концентрации летучих анестетиков повысился интерес к низкопоточной вентиляции, как методу безопасной, эффективной и более дешевой анестезии, поскольку высокий поток не обладает физиологическими свойствами закрытой системы. Эту систему можно использовать как закрытую, при которой поток свежего газа компенсирует только потребление кислорода и анестетика, поглощаемых пациентом. Однако более часто эта система применяется с небольшой утечкой избыточной газовой смеси через клапан, а свежая газовая смесь превышает базовое потребление кислорода.

Описано четыре варианта дыхательной системы:

1. Закрытый контур
2. Минимальный поток Вирти — 0.5 л/мин (1974 год)
3. Низкий поток — 1.0-3.0 л/мин
4. Высокий поток — свыше 3 л/мин с рециркуляцией 40% газовой смеси

Необходимо принять за правило, что применение любого потока свежего газа менее 3.0 л/мин должно осуществляться под постоянным контролем концентрации кислорода во вдыхаемой и летучего анестетика в выдыхаемой газовой смеси с обязательным наличием блока тревоги, срабатывающего при несоблюдении заданных параметров. Рост популярности низкопоточных закрытых систем связан со снижением стоимости лечения, воздействия анестезиологических газов и летучих

анестетиков на оборудование и персонал, повышением качества оказываемой анестезиологической помощи. В этом заключаются преимущества наиболее совершенных анестезиологических систем.

анестетика и газов. Закрытые системы с низким потоком значительно снижают стоимость применения летучих анестетиков. При потоке менее 4 л/мин расход изофлюрана и энфлюрана снижается на 55%, а

Таблица 1

	Коэффициент растворимости Оствальда при 37°С			% метаболизма	Релаксация	Стоимость*
	кровь/ газ	жир/ кровь	масло/ газ			
Закись азота	0.47	2.3	1.4	20 2.4 0.17 0.02 3	средняя сильная сильная сильная сильная	4 13.6 39 19.4 49.2
Галотан	2.5	51	224			
Энфлюран	1.9	36	98			
Изофлюран	1.4	45	91			
Десфлюран	0.42	27	18.7			
Севофлюран	0.59	48	54			

* Указана за 100 мл (фунты стерлингов). Данные приведены из British National Formulary, Number 32, Sept 1996

Преимущества системы низкотоочной вентиляции следующие:

1. Проведение анестезиологического пособия более эффективными и дорогими летучими анестетиками без увеличения затрат на их приобретение.

В таблице 1 приведены характеристики применяемых в современной анестезиологической практике летучих анестетиков. Они сравниваются с закисью азота, свойства которой приближаются к идеальным по таким характеристикам, как быстрое наступление эффекта, столь же быстрое пробуждение, отсутствие метаболизма в организме. Скорость достижения эффективной концентрации анестетика в крови определяется коэффициентом растворимости Оствальда. Чем ниже этот коэффициент, тем быстрее происходит насыщение и выведение анестетика из организма. По своим характеристикам наиболее приближаются к закиси азота изофлюран, десфлюран и севофлюран, цена которых, однако, значительно превышает цену галотана.

При потоке свежей газовой смеси более 5 л/мин теряется около 80% летучего

при потоке 1 л/мин — более чем на 80% [3, 4, 5].

Опыт применения изофлюрана в Витебской областной клинической больнице при потоке свежей газовой смеси 0.8-1.1 л показывает, что при проведении эндотрахеального наркоза в течении 2-2.5 часов при торакотомии требуется всего 10-15 мл анестетика. Наркоз проводился на анестезиологической установке "Ohmeada" с мониторингом гемодинамики и газового состава дыхательной смеси. При наличии современного анестезиологического оборудования это уже сегодня позволяет работать качественными современными летучими анестетиками с минимальными материальными затратами. Потребность в анестезиологических газах снижается в 8-10 раз.

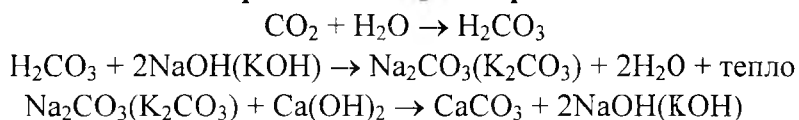
2. Защита окружающей среды. Летучие анестетики загрязняют окружающую среду и воздействуют на персонал. Галогенаты диффундируют через озоновый слой тропосферы и стратосферы, превращаются в галогенизированные радикалы углерода, затем, просачиваясь назад в озоновый слой стратосферы, способствуют разрушению озона и образованию NO радикалов. За-

кись азота распадается в стратосфере до NO, приводя к эффекту озоновой дыры. Хотя вклад анестезиологической закиси азота составляет 1% этого феномена, эта доля зависит от нас и может быть уменьшена [6, 7].

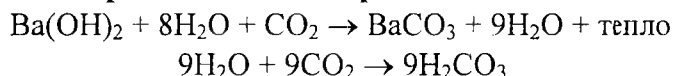
Увлажнение и согревание газовой смеси. Свойство закрытой системы позволяет снизить потери воды, предотвратить повреждение легких и уменьшить частоту легочных осложнений после наркоза. Поскольку процесс абсорбции CO₂ происходит с выделением воды и тепла, газовая смесь в рециклирующей системе приобретает более физиологические характеристики [8].

ным считается размер гранул 5-7 мм. Канистра, содержащая натронную известь, должна располагаться вертикально, что предотвращает прохождение газовой смеси мимо сорбента и не увеличивает мертвое пространство. Это позволяет применять канистру большего объема без увеличения мертвого пространства. Истощение абсорбера зависит от емкости канистры, уровня потока свежего газа и уровня образования углекислоты. Длительность использования извести также зависит от положения канистры в контуре. В некоторых системах через нее пропускается весь выдыхаемый газ, что приводит к более быстрому истощению. Более эффективно, когда

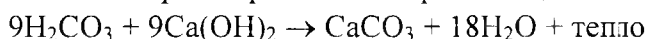
Химическая реакции CO₂ с натронной известью



Химическая реакция CO₂ и бариево-кальциевой известью



Затем прямая реакция и через KOH, NaOH



Поглотитель CO₂ или натронная известь состоит из смеси гидроокиси кальция с меньших количеств гидроокиси натрия (4% массы) и гидроокиси калия (1% массы) в качестве катализаторов процесса. Увлажнение играет важную роль, поскольку реакция происходит между ионами в водной среде. Необходимое содержание воды — 14-19% от веса смеси. Для придания необходимой твердости гранулам и предотвращения их разрушения добавляется небольшое количество силикона диоксида, а для определения момента истощения натронной извести — кислотно-основной индикатор. Размер гранул в абсорбере имеет большое значение. Если гранулы слишком крупные, то уменьшается поверхность абсорбции, а если они слишком мелкие, то незначительное расстояние между ними приводит к увеличению сопротивления дыханию. Оптималь-

через канистру проходит только вдыхаемая газовая смесь.

При искусственной вентиляции легких уровень увлажнения 17-33 мг H₂O/л газовой смеси считается оптимальным. Увлажнение газовой смеси при применении абсорбера с потоком свежего газа 0.5-2.0 л/мин составляет 21.6-25.2 мг/л воды. Это и есть “золотая середина” рекомендуемого уровня. В ряде исследований проводилось сравнение согревания и увлажнение закрытой системы с абсорбером и открытых систем с различными увлажнителями (Servo 150 и Edith). Каждый увлажнитель показывал быстрый рост температуры и увлажнения в течение первых десяти минут. При использовании абсорбера с потоком газа 0.5-5.0 л/мин отмечается постепенное увеличение температуры и влажности газовой системы в течение первого часа, при потоке 0.5 л/мин — 28.0 мг/л, при

потоке 5.0 л/мин — 22.6 мг/л (9).

Химическая реакция в абсорбере приводит к образованию тепла, причем температура в центре абсорбера может достигать 60°C. Ранее было замечено, что трихлорэтилен распадается при высокой температуре с образованием токсических веществ, включая нейротоксин дихлорацетилен. Следовательно, его никогда нельзя применять в закрытой системе, содержащей натронную известь.

Использование низкопоточной системы требует знания особенностей ее работы. В открытой системе, где поток свежей газовой смеси превышает объем минутной вентиляции, концентрация агентов и газов контролируется испарителем и ротаметрами. В рециркуляционной системе приток газа меньше минутного объема дыхания, происходит смешение и разбавление газов, поэтому для проведения наркоза требуется мониторинг в дыхательной смеси газов и анестетика.

При применении наиболее растворимых в жирах агентов (см. табл. 1) концентрация анестетика в смеси растет медленно за счет насыщения тканей. Насыщения пациента закисью азота происходит приблизительно за 10 минут. Десфлюран также имеет низкий коэффициент растворимости газ/кровь — 0.42. Достигается быстрое насыщение и вымывание, снижается потребность в препарате для проведения наркоза.

Традиционное соотношение кислорода и закиси азота 1:2 - 1:3 неприемлемо при низкопоточной вентиляции 1 л/мин. Более оптимально соотношение 1:1. До начала снижения объема подаваемой свежей газовой смеси нужно проводить вентиляцию пациента с объемом свежей газовой смеси 3-6 л/мин в течении 5-10 минут для удаления азота, содержание которого у человека с весом 70 кг составляет 3 л, из них 2 л — в емкостях легких и 1 л — в тканях и кишечнике. Денитрогенизация легких занимает 3-5 минут. Однако азот может накапливаться в контуре и после денитрогенизации за первый час в контуре накапливается до 4% азота. При потоке свыше 3 л/мин

азот вымывается и не происходит его накопление.

Исходя из вышесказанного, можно предложить оптимальную последовательность действий при проведении анестезиологического пособия:

1. Вводный наркоз, релаксант, интубация трахеи и перевод на ИВЛ
2. Денитрогенизация
3. Насыщение контура газами и летучим анестетиком
4. Проведение базис-наркоза — через 10 минут поток снижается до 1 л, поддерживается мониторируемая заданная концентрация газовой смеси

Особенности изменения концентрации газов и анестетиков в дыхательной смеси. Регулирование открытой системы является более простым делом и определяется соотношением газов, проходящих через ротаметры, и концентрацией летучего анестетика, указанного на испарителе. Особенностью низкопоточной системы является невозможность быстро изменить концентрации газовой смеси и глубину наркоза, поскольку объем свежей газовой смеси незначителен по сравнению с общим объемом газов в системе аппарат-шланги-абсорбер-легкие. Происходит постепенное разбавление газовой смеси с медленным изменением концентрации. При даже значительном увеличении показаний испарителя концентрация анестетика в газовой смеси изменяется медленно. Для быстрого изменения содержание летучего анестетика в газовой смеси следует временно увеличить объем свежей газовой смеси, что увеличит его долю в общем объеме дыхательной смеси. После достижения желаемой концентрации следует возвратиться к прежнему режиму вентиляции.

Поддержание соотношения газов. Хотя выше рекомендовано применять соотношение $O_2:N_2O = 1:1$, реальное соотношение близко к привычным 1:2 или 1:3. Для объяснения этого явления следует кратко описать метаболизм кислорода. Кислород потребляется организмом в то время, как лишь небольшое количество закиси азота

теряется путем диффузии через кожные покровы. Базовое потребление кислорода человека весом 70 кг в покое составляет около 250 мл/мин, которое снижается под наркозом. Эту величину следует исходно вычитать из подаваемого количества кислорода. Например, объем свежей газовой смеси 1000 мл и соотношение кислорода и закиси азота 1:1. Следовательно, 500 мл O_2 (подаваемый объем) – 250 мл O_2 (базовая потребность) = 250 мл, следовательно, подаваемая газовая смесь имеет реальное соотношение кислорода и закиси азота 1:2.

Потенциальный интерес к системе закрытого контура с низко поточной вентиляцией

1. Бактериальное загрязнение. Моулин и Сауберман [10] в 1977 году показали, что инфицирование пациентов за счет анестезиологических машин происходит редко (перекрестное заражение). Эти результаты были также подтверждены при проведении низкочастотной вентиляции [11]. Применение бактериальных фильтров помогает устранить эту проблему.
2. Избыточное накопление воды. Вода накапливается в шлангах и собирается во влагосборниках, работает в абсорбере, ионизируя реагенты. Система слива в современных абсорберах позволяет удалять избыточное количество воды.
3. Накопление метаболитов и “следовых газов”. Любые летучие компоненты и газы, являющиеся продуктами тканей или бактерий могут поступать в контур. Это может стать проблемой при низкочастотной вентиляции за счет низкого вымывания и обновления дыхательной смеси. К “следовым газам” относятся водород, метан, моноокись углерода, ацетон, этанол.

Следует упомянуть, что не происходит накопления этанола и метана во вредных концентрациях [12], а периодическое промывание системы свежим газом высокоэффективно снижает содержание водо-растворимых газов — азота, водорода и метана [13]. Метан, присутствуя в конту-

ре в высокой концентрации, снижает точность газового мониторинга, особенно значительно при использовании галотана. Риск накопления ацетона и этанола существует только у пациентов, злоупотребляющих алкоголем или при декомпенсации сахарного диабета. Ацетон затрудняет выведение из анестезии, вызывает тошноту и рвоту, поэтому у таких пациентов не следует уменьшать поток ниже 1 л/мин. Ацетон и этанол являются высокорастворимыми соединениями, их сложно вывести при кратковременном продувании системы. Полное закрытие системы приводит к накоплению монооксида углерода. Рекомендуется регулярное продувание системы, для обычного пациента достаточно делать это через час. При гемолитической анемии, недавней гемотрансфузии или у злостных курильщиков [14, 15] отмечается низкая толерантность к карбоксигемоглобину, а образование СО увеличено. Частота продувания должна быть выше. Показано, что СО может образовываться в абсорбере при применении фторсодержащих анестетиков. Количество образованного СО крайне незначительно и не имеет клинического значения, поэтому, следует просто продуть абсорбер кислородом после применения фторсодержащих анестетиков, если абсорбер длительно не использовался. Рекомендовано два режима промывания: 5 л/мин в течение 1 мин (Duke University) или 10 л/мин в течении 5 мин (Northwestern University).

ЛИТЕРАТУРА

1. Alan R. Aitkenhead, Graham Smith; *Textbook of Anesthesia*, 3-rd edition, 1996.
2. Waters R.M. *Clinical scope and utility of carbon dioxide filtration inhalation anaesthesia*; *Anesth. Analg.* 1924, 3, 20-26.
3. Hersher E., Yeakel A.E. *Nitrous oxide-oxygen based anesthesia: the waste and its cost*; *Anesthesiology Review*, 1977, Dec. 29-31
4. Stenqvist O. *Comparison of costs of different anesthetist techniques*; *Acta Anesth. Scand.*, 1988, 32, 33-35

5. Cotter S.M., Petros A.J., Dore C.J., Barber N.D., Wuite D.C. Low-flow anesthesia practice, cost implication and acceptability; *Anesthesia* 1991; 46; 1009-1012
6. Logan M., Farmer J.M., Anesthesia and the ozone layer; *Anesthesia* 1989; 63; 645-647
7. 7. Data on life, Ohmeda, 1993
8. Bengston J.B., Sonander H., The circle system as a humidifier. *British Journal of Anesthesia*; 1989; 63; 453-457
9. Bengston J.P., Bengston A., Sonander H., Stenqvist O. Humidity of the Bain and circle system reassessed; *Anesth. Analg.*, 1989; 69; 83-86
10. du Moulin G.C., Hedly-White J. Bacterial interaction between anesthesiologists, their patients and equipment; *Anesthesiol.*, 1982; 57; 37-41
11. Bengston J.P., et al. Low flow anesthesia does not increase the risk of microbial contamination through the circle absorber system. *Acta Anesth. Scand* 1989; 33; 89-92
12. Baum J. Personal communication, 1993
13. Morita S. et al. Accumulation of methane, acetone and nitrogen in the inspired gas during closed-circuit anesthesia. *Anesth. Analg.* 1985; 64; 343-347
14. Strauß J.M et al. Formation of carboxyhemoglobin during closed-system anesthesia of long duration. *Anesthetist*, 1991; 40; 324-327
15. Middleton V. et al. Carbon monoxide accumulation in closed circle anesthesia system. *Anesthesiol.* 1965; 26; 715-719